

ГЕОМЕХАНИКА

УДК 622.235.5

Ю. А. Масаев

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ФОРМИРОВАНИЯ ЗОНЫ НАРУШЕННОСТИ ПОРОДНОГО МАССИВА ПОСЛЕ ВЗРЫВАНИЙ ЗАРЯДОВ ВВ В ОКОНТУРИВАЮЩИХ ШПУРАХ

В практике сооружения горных выработок, особенно с длительным сроком службы, важное значение имеет степень нарушенности законтурного массива и, как правило, этот факт проявляется при дальнейшей эксплуатации готовой горной выработки. В Кузбассе, например, неоднократно происходили вывалы кровли горных выработок (куполообразование), достигающее иногда по длине выработки до 30 м при высоте купола порядка 4–5 м, а иногда и более.

Такие явления приводят не только к затратам труда и средств на их ликвидацию, но иногда и к тяжелым последствиям, связанными с травмированием. Поэтому изучение условий формирования зон нарушенности в законтурном массиве и разработка мероприятий по предотвращению таких явлений имеет очень важное значение.

В ранее опубликованных нами материалах [1] были приведены результаты производственных исследований влияния взрывных работ на состояние законтурного массива без пояснения физической сущности происходящих процессов, изучение которых позволило бы управлять влиянием энергии взрыва на окружающий породный массив.

При взрыве зарядов ВВ в окружающий породный массив переходит мощная ударная волна трансформирующаяся затем в волну напряжения, взаимодействие которых с породным массивом и формирует зоны нарушенности.

Действие взрыва зарядов ВВ оконтуривающих шпурков на законтурный массив должно рассматриваться с учетом двух основных факторов – волн напряжения и расширяющихся газообразных продуктов взрыва.

Заряды оконтуривающих шпурков взрываются при наличии двух обнаженных поверхностей, поэтому на законтурный породный массив действуют как прямые волны напряжений, так и отраженные от предконтурной плоскости обнажения.

Радиальные напряжения во фронте волны напряжения при ее перемещении по массиву приближенно определяются из выражения

$$\sigma_r = P_o \left(\frac{r_o}{r_x} \right)^n,$$

где r_x – расстояние до точки, в которой определяется напряжение; n – коэффициент ($n = 1 \div 2$).

По данным исследований А. Н. Ханукаева максимальные радиальные напряжения в крепких горных породах при взрывании удлиненных зарядов ВВ составляют

$$\sigma_{rmax} = \frac{\rho C_p}{g} \left(\frac{24}{r} + \frac{3600}{r^2} + \frac{86400}{r^3} \right) \cdot 10^2,$$

где ρC_p – акустическая жесткость горной поро-

ды; $r = \frac{r_x}{r_o}$ – относительное расстояние до при-

веденной точки

Величина напряжений на контакте «заряд–порода» может быть вычислена по формуле

$$\sigma_{max} = K P_o,$$

где K – коэффициент преломления давления из заряда ВВ в породе;

$$K = \frac{2}{1 + \frac{\rho_{\text{вв}} D_{\text{вв}}}{\rho_{\text{пор}} C_p}};$$

$\rho_{\text{вв}}$, $\rho_{\text{пор}}$ – массовая плотность ВВ и породы; $D_{\text{вв}}$ – скорость детонации ВВ; C_p – скорость распространения возмущений в породе.

По данным Ф. М. Баума

$$P_o = \frac{1}{8} \rho_{\text{вв}} D^2.$$

Проходящая по породному массиву волна напряжения создает зону предразрушения, а при ее подходе к обнаженной поверхности, образованной после взрыва отбойных шпурков, происходит ее отражение на границе раздела сред. Отраженная волна напряжений может распространяться в законтурный массив, если к моменту ее формирования между оконтуривающими шпурами еще не будут образованы трещины. Это условие можно выразить в виде:

$$t_{mp} \leq t_{np} + t_{\text{отр}},$$

где t_{mp} – время соединения встречных трещин от соседних шпурков; t_{np} – время распространения прямой волны напряжений до обнаженной поверхности; t_{opt} – время распространения отраженной волны напряжений до проектного контура выработки.

$$t_{mp} = \frac{E}{2U_{mp}},$$

где E – расстояние между оконтуривающими шпурками; U_{mp} – скорость разрушения участков породы между шпурками в ряду.

$$t_{np} = t_{opt} = \frac{W}{C_p},$$

где W – линия наименьшего сопротивления оконтуривающего ряда; C_p – скорость распространения возмущений в породном массиве.

Отсюда:

$$\frac{E}{2U_{mp}} = \frac{2W}{C_p}.$$

Из полученного выражения видно, что минимальное расстояние между оконтуривающими шпурками, обеспечивающее локализацию отраженной волны, зависит от скорости разрушения участков породы между оконтуривающими шпурками, скорости распространения волны напряжений и величины линии наименьшего сопротивления оконтуривающего ряда.

Результаты исследований по изучению скоростей разрушения участков породы между оконтуривающими шпурками позволили установить необходимые соотношения расстояния между оконтуривающими шпурками и величиной линии наименьшего сопротивления для горных пород с различными коэффициентами крепости, при которых обеспечиваются условия локализации отраженной

волны напряжений.

Для горных пород с $f=9-12$ $E \leq 2W$, с $f=6-8$ $E \leq 1,6W$, с $f=4-6$ $E \leq 1,4W$. При этих условиях влияние отраженной волны напряжения на разрушение законтурного массива будет незначительно.

При соблюдении этого условия законтурный массив не будет подвергаться дополнительному разрушению за счет действия отраженной волны напряжения, дальнейшее разрушение будет происходить за счет действия расширяющихся продуктов детонации, остаточное давление которых может быть определено из выражения

$$P_{ost} = \frac{P_o}{n_o} = \frac{\rho_{66} D^2}{8n_o},$$

где n_o – коэффициент, учитывающий снижение давления за счет образования зоны пластических деформаций $n_o = \frac{P_o}{P_k}$.

Разрушение горной породы под действием остаточного давления ПВ будет эффективно происходить при возможности беспрепятственного смещения в каком-либо направлении.

При взрыве зарядов ВВ оконтуривающих шпурков, из-за высокой скорости разрушения, которая на небольших расстояниях от заряда ВВ близка к скорости распространения волн напряжения, при достаточно высокой скорости прорастания трещин, прорыв газообразных ПВ от соседних шпурков через обнаженную поверхность, возможен при коэффициенте сближения

$$a = \frac{E}{W} \geq 2.$$

При меньших значениях этого коэффициента продукты детонации, в первую очередь, будут проникать по трещинам, соединяющим соседние шпуры и массив начнет смещаться в сторону свободной поверхности как одно целое, а продукты

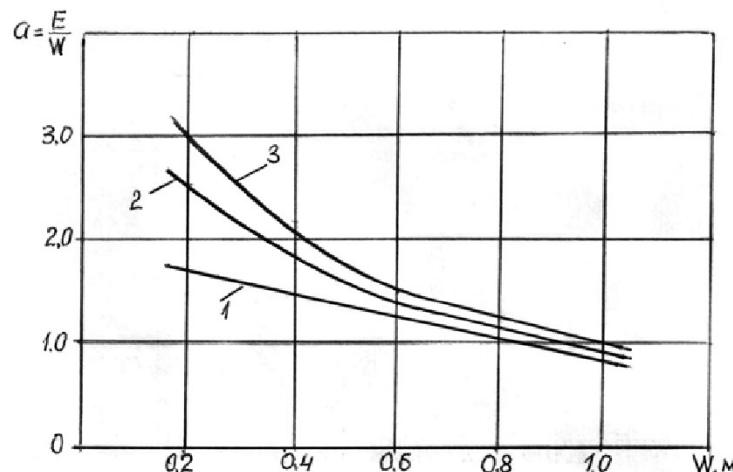


Рис. 2. Зависимость коэффициента сближения зарядов (a) от величины Л.Н.С. (W):
1 – $f=4-6$; 2 – $f=6-8$; 3 – $f=9-12$.

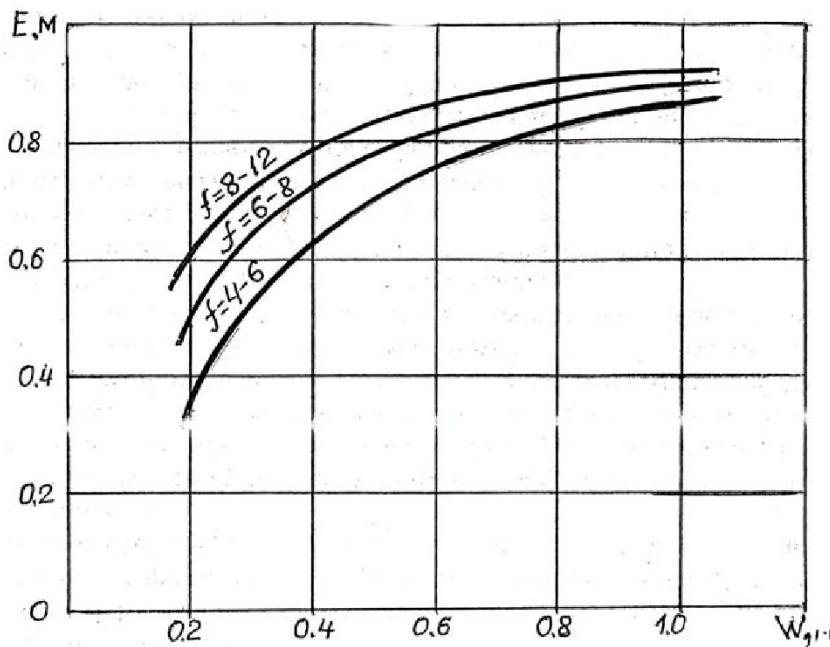


Рис. 1. Зависимость оптимальных расстояний между оконтуривающими шпурами (E_{om}) от величины Л.Н.С. (W).

детонации будут продолжать развивать трещиноватость как в смещаемом слое, так и в неподвижном законтурном массиве. Это приводит к увеличению нарушенности законтурного массива, если оконтуривающие шпуры были пробурены по линии проектного сечения. Для снижения такого явления оконтуривающие шпуры необходимо бурить на определенном расстоянии от проектного контура, зависящем от физико-механических свойств горной породы.

Исходя из изложенных выше представлений о воздействии взрыва зарядов оконтуривающих шпуром на законтурный массив, параметры оконтуривающих шпуром могут быть найдены из условия минимального времени действия на законтурный массив расширяющихся газообразных ПВ. При этом, действие волн напряжения на породный массив считается постоянным.

Это положение можно считать справедливым, поскольку протяженность радиальных трещин, образовавшихся при групповом взрывании, не превышает протяженности радиальных трещин, образованных при взрывании одиночных зарядов ВВ (по данным экспериментальных исследований). Дальнейшее их развитие, как уже было сказано ранее, возможно только лишь под действием остаточного давления продуктов детонации. И чем больше время действия их на законтурный массив, тем большее развитие получит трещиноватость и тем большее вероятность переборов за линию оконтуривания при взрыве группы зарядов ВВ.

На рис. 1 представлена графическая зависимость оптимальных расстояний между оконтуривающими шпуром при различной величине

Л.Н.С. зарядов, обеспечивающих минимальное время разрушающего действия газообразных продуктов взрыва на законтурный массив.

Оптимальные значения расстояний между оконтуривающими шпуром возрастают с увеличением Л.Н.С. До $W=0,6$ м увеличение происходит более интенсивно, чем при дальнейшем увеличении Л.Н.С., когда оптимальное расстояние изменяется незначительно. При этом наибольшее возрастание оптимальных расстояний наблюдается в более слабых породах.

На рис. 2 приведена зависимость коэффициента сближения зарядов оконтуривающих шпуром от величины Л.Н.С. Как видно из графика, коэффициент сближения зарядов ВВ в различных условиях взрываются в пределах от 0,95 до 3,1. При этом, коэффициент сближения зарядов уменьшается с увеличением Л.Н.С.

Для пород с $f=4-6$ коэффициент сближения зарядов снижается пропорционально линии наименьшего сопротивления. Для пород с 6-8 и $f=8-12$ пропорциональное снижение характерно при Л.Н.С. более 0,6 м, а при Л.Н.С. менее 0,6 м коэффициент сближения зарядов уменьшается более интенсивно.

Так, одним из путей снижения нарушенности законтурного пространства является правильный подбор соотношений величин Л.Н.С. и расстояний между оконтуривающими шпуром. Это соотношение, в основном, полностью определяет продолжительность разрушения породы, продолжительность формирования и величину как зоны трещиноватости, так и общую зону нарушенности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Масаев, Ю. А.* Влияние параметров буровзрывных работ на состояние законтурного массива горных выработок / Вестник. КузГТУ: – Кемерово, 2000, №5. – С. 85–87.

□Автор статьи:

Масаев
Юрий Алексеевич
канд. техн. наук, профессор
каф.строительства подзем-
ных сооружений и шахт КузГТУ
Email: recess@bk.ru

УДК 622.235

Ю. А. Масаев

УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК В НАПРЯЖЕННОМ ПОРОДНОМ МАССИВЕ

Сооружение горных выработок, особенно на больших глубинах их заложения, является одним из наиболее тяжелых процессов, представляющих опасность для горнорабочих, поэтому к проектированию буровзрывного способа проходки следует подходить с особым вниманием.

Одним из основных условий качественной отбойки горных пород, обеспечивающей не только высокую скорость проведения горной выработки, но и состояние законтурного массива, предопределяющее безопасные условия последующей эксплуатации готовой выработки, является правильное определение параметров взрыва при составлении паспортов буровзрывных работ.

Нами были проведены исследования условий проведения горных выработок на угольных и рудных шахтах Кузбасса и анализ более 50 паспортов буровзрывных работ, которые показали, что как в угольных шахтах при проведении выработок, в основном, в породах средней крепости, так и в рудных шахтах при проведении выработок в породах крепких, вязких, упругих наиболее часто применяемая глубина шпуров составляет 1,8-2,0 м.

Причем, такая глубина шпуров не подтверждается расчетами для каждого конкретных условий, а принимается в соответствии с ранее составленными паспортами БВР для выработок, примерно, одинакового поперечного сечения, но проводимым по другим породам, что приводит к нежелаемым результатам.

Для достижения более эффективного разрушения и дробления породного массива необходимо научиться управлять действием взрыва в конкретных горногеологических условиях его производства. Недостатком существующих методов определения параметров взрыва при составлении паспортов БВР в расчетных формулах используется лишь один параметр, характеризующий свойства взрываемого породного массива – коэффициент крепости по шкале проф. М. М. Протодьяконова,

который является лишь относительным показателем.

Для определения глубины шпуров наиболее рациональным является метод проф. Н. М. Покровского, учитывающий применяемую организацию и механизацию проходческого цикла. И естественно, что с появлением новых высокопроизводительных горнопроходческих машин появляется возможность бурить более глубокие шпуры. Техническое перевооружение, закупка современной и надежной техники являются необходимыми условиями производительной и безопасной работы, однако наряду с этим следует использовать такой естественный природный фактор, как действующее горное давление и превратить его из противника в помощника горного инженера. От горного давления зависит изменение физико-механических свойств и поведения горных пород, что влияет на условия их разрушения.

В нетронутом массиве горные породы находятся в состоянии всестороннего объемного сжатия. При проведении горной выработки нарушаются условия равновесия, за счет чего в призабойной зоне образуется поле статических напряжений, вид и величина которых зависит от формы и размеров горной выработки и физико-механических свойств вмещающих горных пород.

Напряженное состояние горных пород оказывается на их прочностных показателях и при этом важно знать вид поля напряжений. Как указывают целый ряд исследователей, в условиях объемного напряженного состояния прочностные характеристики горных пород многократно возрастают, а соотношение пределов прочности на сжатие и растяжение уменьшается.

Первоначальное напряженное состояние нетронутого массива характеризуется вертикальной σ_z и горизонтальными σ_x и σ_y составляющими тензора напряжений, связь между которыми может быть выражена через упругие характеристики породного массива: